

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 195 37 880 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 F 1/86  
G 01 F 1/84

21 Aktenzeichen: 195 37 880.6  
22 Anmeldetag: 11. 10. 95  
43 Offenlegungstag: 25. 4. 96

DE 195 37 880 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
18.10.94 JP 251759/94

71 Anmelder:  
Fuji Electric Co., Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP

74 Vertreter:  
Hoffmann, E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82166 Gräfelfing

72 Erfinder:  
Kishiro, Masami, Kawasaki, JP; Ohkawa, Keita,  
Kawasaki, JP; Yao, Hironobu, Kawasaki, JP;  
Matsumoto, Iwao, Kawasaki, JP

54 Massendurchfluß-Meßgerät

57 Ein nach dem Coriolis-Prinzip arbeitendes Massendurchfluß-Meßgerät enthält ein gerades Meßrohr, eine Antriebseinrichtung, um das Meßrohr in Schwingungen zu versetzen, wobei das Meßrohr an zwei Schwingungsknoten seiner Schwingung entsprechenden Stellen eingespannt ist, eine Schwingungsdetektoranordnung zur Erfassung der Schwingung des Meßrohres, eine Einrichtung zur Ableitung eines Meßwerts der Massendurchflußrate aufgrund von Ausgangssignalen der Schwingungsdetektoranordnung, eine Sensoranordnung zur Erfassung eines Temperatur- und/oder Spannungszustands des Meßrohres, und eine Korrektureinrichtung zur Korrektur des Meßwerts der Massendurchflußrate auf der Basis wenigstens eines Ausgangssignals der Sensoranordnung. Die Korrektureinrichtung umfaßt eine Massendurchflußraten-Korrektureinrichtung zur Korrektur eines der eigentlichen Massendurchflußrate des Fluids entsprechenden Teiles des Meßwerts, und eine Nullpunkt-Korrektureinrichtung zur Korrektur eines einer Nullpunktverschiebung entsprechenden Teiles des Meßwerts, der sich ergibt, wenn die Massendurchflußrate null ist.

DE 195 37 880 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESPATENTAMT 02.06.96 02.017/490

8/27

Die vorliegende Erfindung betrifft ein auf dem Coriolis-Prinzip beruhendes Mengenstrom- oder Massendurchfluß-Meßgerät, das die Massendurchflußrate eines Fluids auf der Grundlage der Reaktionskraft mißt, die durch Beschleunigen des ein gerades Meßrohr durchströmenden Fluids erzeugt wird.

Ein herkömmliches Coriolis-Massendurchfluß-Meßgerät ist in der JP-B-60-34683 offenbart. Fig. 7 ist eine perspektivische Darstellung dieses herkömmlichen Massendurchfluß-Meßgeräts. Wie in Fig. 7 dargestellt, ist ein U-förmiges Meßrohr 2 dadurch an einem Gehäuse 19 freitragend befestigt, daß seine beiden Enden 31 und 32 fest eingespannt sind. Ein stabartiger Resonator 120 ist mit einem Ende zwischen den beiden Enden 31 und 32 des Meßrohres 2 fest eingespannt an dem Gehäuse 19 befestigt. Die Eigenfrequenzen des Meßrohres 2 und des Resonators 120 sind gleich, so daß das Meßrohr 2 und der Resonator 120 miteinander schwingen können. Ein Antrieb 5, der beispielsweise eine Spule und einen Magneten umfaßt, ist zwischen dem Querschlenkel (Boden) des Meßrohres 2 und dem anderen Ende (Oberseite) des Resonators 120 angeordnet. Das Meßrohr 2 und der Resonator 120 werden von dem Antrieb 5 und einer Antriebsschaltung 8 bei der Resonanzfrequenz in Schwingungen versetzt. Geschwindigkeitssensoren 6a und 6b aus einer Spule und einem Magneten sind an beiden Enden des geraden Querschlenkels des U-förmigen Meßrohres 2 fixiert. Die Ausgangssignale der Geschwindigkeitssensoren 6a und 6b werden einer Signalverarbeitungsschaltung 9 eingegeben und in dieser in ein Durchflußratensignal umgesetzt. Die Mittel zur Messung der Schwingung des Meßrohres 2 sind nicht auf Geschwindigkeitssensoren wie die Sensoren 6a und 6b beschränkt. Jede Art von Sensoren, die in der Lage ist, die Schwingung des Meßrohres zu erfassen, wie Verschiebungssensoren, Beschleunigungssensoren, etc. können zur Messung der Schwingung des Meßrohres 2 verwendet werden.

Das zu messende Fluid strömt in einer durch einen Pfeil U angegebenen Richtung von einem nicht dargestellten Einlaßrohr in das Meßrohr 2 hinein und, nach Durchströmen des Meßrohres, in einer durch einen Pfeil D angegebenen Richtung zu einem nicht dargestellten Auslaßrohr aus dem Meßrohr 2 hinaus.

Es sei zunächst der Fall betrachtet, daß die Strömungsrate des Fluids null ist. Das Meßrohr 2 und der Resonator 120 werden von dem Antrieb 5 und der Antriebs- oder Treiberschaltung 8 mit der Resonanzfrequenz in Schwingungen versetzt. Da die Positionen, an denen die Geschwindigkeitssensoren 6a und 6b fixiert sind, dieselbe Bewegung ausführen, enthalten die von den Geschwindigkeitssensoren 6a und 6b ausgegebenen Signale keine Phasendifferenz relativ zueinander.

Es sei dann der Fall betrachtet, daß das Fluid durch das Meßrohr strömt. Es wird dann die Corioliskraft senkrecht zur Strömungsgeschwindigkeit erzeugt. Da die Strömungsrichtungen in den beiden Längsschenkeln (Armen) des Meßrohres 2 einander entgegengesetzt sind, sind auch die Richtungen der erzeugten Corioliskraft einander entgegengesetzt. Daher wird ein Moment um die Achse O, das heißt die Mittelnachse des Meßrohres 2 erzeugt. Infolge des Moments ist eine Torsionsschwingung bezüglich der Achse O einer Biegeschwingung um eine Achse W-W überlagert, die die beiden Enden 31 und 32 des Meßrohres 2 miteinander verbindet. Aus diesem Grund werden die von den Ge-

schwindigkeitssensoren 6a und 6b ausgegebenen Signale als Signale aufgenommen, die eine Phasendifferenz (Zeitdifferenz) relativ zueinander aufweisen. Da die Corioliskraft der Massendurchflußrate proportional ist, ist auch diese Phasendifferenz zwischen den Ausgangssignalen der Geschwindigkeitssensoren 6a und 6b der Massendurchflußrate proportional. Auf diese Weise wird die Massendurchflußrate des Fluids durch Messen der Phasendifferenz (Zeitdifferenz) zwischen den Ausgangssignalen der Sensoren gemessen.

Wenn das Meßrohr U-förmig ist, wie im Fall von Fig. 7, oder andere gekrümmte Formen aufweist, dann führen diese komplizierten Formen zu folgenden Nachteilen: (1) es entsteht ein großer Druckabfall; (2) es ist schwierig, das Meßrohr zu säubern; (3) das nach der Messung in dem Meßrohr verbleibende Fluid läßt sich nicht leicht entfernen; und schließlich sind (4) die äußeren Abmessungen des Massendurchfluß-Meßgeräts groß. Diese Probleme können durch Verwendung eines geraden Meßrohres gelöst werden. Es tritt dann aber ein dem geraden Meßrohr eigenes anderes Problem auf. In Axialrichtung des geraden Meßrohres treten beispielsweise durch eine Temperaturänderung des Fluids oder der Umgebung Spannungen (stress or strain) auf. Diese Spannungen und ihre Änderung (bzw. die Auswirkungen der sich ändernden Spannungen) beeinflussen das Meßergebnis der Massendurchflußrate und verursachen damit einen Meßfehler.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Coriolis-Massendurchfluß-Meßgerät zu schaffen, welches die Massendurchflußrate eines Fluids auf der Grundlage der Reaktionskraft mißt, die durch Beschleunigung des durch ein gerades Meßrohr strömenden Fluids erzeugt wird, und welches eine hohe Meßgenauigkeit aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Massendurchfluß-Meßgerät gemäß Patentanspruch 1, 5 bzw. 6 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Der Meßwert der Massendurchflußrate kann als sich aus zwei additiven Teilen zusammensetzend angesehen werden: einem die eigentliche Massendurchflußrate repräsentierenden Teil und einem eine Nullpunktverschiebung darstellenden Teil. Gemäß einem Aspekt der Erfindung korrigiert eine Massendurchflußraten-Korrekturereinrichtung den Teil des Meßwerts, der der eigentlichen Massendurchflußrate entspricht auf der Basis des Ausgangssignals der Sensoreinrichtung, und eine Nullpunkt-Korrekturereinrichtung korrigiert den Teil des Meßwerts, der der Nullpunktverschiebung entspricht. Als Folge davon wird die gemessene Massendurchflußrate vollkommen korrigiert. Die Korrektur erfolgt auf der Basis des nachfolgend beschriebenen Prinzips. Der Meßwert der Massendurchflußrate ändert sich mit Parametern wie dem Elastizitätsmodul, dem Flächenmoment 2. Grades (second moment of area), der Länge, der Axialkraft etc. des Meßrohres. Die Parameter ändern sich mit der in Axialrichtung des Meßrohres hervorgerufenen Spannung, der Temperatur des Meßrohres etc. Daher werden ein Temperatursensor oder ein Spannungssensor, vorzugsweise ein Temperatursensor und ein Spannungssensor, bei dem Massendurchfluß-Meßgerät vorgesehen und der Meßwert der Massendurchflußrate auf der Basis der Ausgangssignale dieser Sensoren korrigiert. Da die Spannung und die Temperatur des Meßrohres die eigentliche Massendurchflußrate und die Nullpunktverschiebung des Meßwertes unter-

schiedlich beeinflussen, werden beide gesondert korrigiert, so daß die Meßgenauigkeit verbessert werden kann.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung erhält man die Spannung in Axialrichtung des Meßrohres von dem Ausgangssignal eines ersten Temperatursensors zur Messung der Temperatur des Meßrohres, vom Ausgangssignal eines zweiten Temperatursensors zur Messung der Temperatur eines Rahmens und von den thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Meßrohr und Rahmen. Die Korrektureinrichtung korrigiert den Meßwert der Massendurchflußrate mittels der erhaltenen Spannung und des Ausgangssignals des ersten Temperatursensors. Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist ein Temperatursensor an einem Mittelpunkt zwischen einem ersten Ort, wo das Meßrohr an dem Rahmen fixiert ist, und einem zweiten Ort, wo das Meßrohr am Gehäuse fixiert ist, angeordnet, so daß der Einfluß des Temperatursensors auf die Schwingung des Meßrohres unterdrückt werden kann.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf ein erstes Ausführungsbeispiel eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 einen Querschnitt des Massendurchfluß-Meßgeräts von Fig. 1,

Fig. 3 einen Querschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 4 eine Draufsicht auf ein drittes Ausführungsbeispiel eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 5 eine Draufsicht auf ein viertes Ausführungsbeispiel eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 6 einen Querschnitt des Massendurchfluß-Meßgeräts von Fig. 5, und

Fig. 7 eine perspektivische Ansicht eines herkömmlichen Massendurchflußmeßgeräts.

Das in den Fig. 1 und 2 dargestellte erste Ausführungsbeispiel des Massendurchfluß-Meßgerätes umfaßt eine Meßeinheit 1 mit einem geraden Meßrohr 2, das an Schwingungsknoten mittels Befestigungsgliedern 3a bzw. 3b fixiert ist. Das Massendurchfluß-Meßgerät besitzt ferner Versteifungsstangen 4a und 4b, die die Befestigungsglieder 3a und 3b miteinander verbinden. Die Befestigungsglieder 3a, 3b und die Versteifungsstangen 4a, 4b sind zu einem einheitlichen rechteckigen Rahmen integriert. Das Fluid strömt von der Seite U zur Seite D. Wie in Fig. 2 gezeigt, ist ein Antrieb 5 auf einem Adapter 7a in der Mitte des Schwingungsabschnitts des Meßrohres 2 fixiert. Sensoren 6a und 6b, die die Schwingung des Meßrohres 2 messen, sind symmetrisch auf beiden Seiten, in Strömungsrichtung vor bzw. nach dem Antrieb 5, auf jeweiligen Adaptern 7b und 7c installiert. Die Adapter 7a, 7b und 7c sind zwischen den Versteifungsstangen 4a und 4b angeordnet. Das Meßrohr 2 wird mittels der Antriebsschaltung 8 und des Antriebs 5 bei der Resonanzfrequenz in Schwingungen versetzt, wobei seine Positionen a und b als die Schwingungsknoten fixiert sind. Von den Sensoren 6a und 6b abgegebenen Signale werden in einer Signalverarbeitungsschaltung 9 zu einem Signal  $Q_m$  umgesetzt, welches die Massendurchflußrate des zu messenden Fluids repräsentiert.

Bei dem oben beschriebenen Aufbau wird die Corioliskraft senkrecht zur Strömungsgeschwindigkeit des

das Meßrohr 2 durchströmenden Fluids erzeugt. Die Richtung der Corioliskraft ist auf der in Strömungsrichtung vor dem Antrieb 5 gelegenen Seite entgegengesetzt zu der in Strömungsrichtung nach dem Antrieb 5 gelegenen Seite. Daher wird eine Phasendifferenz (Zeitdifferenz) proportional der Massendurchflußrate zwischen den Ausgangssignalen der Sensoren 6a und 6b, die vor bzw. nach dem Antrieb 5 angeordnet sind, erzeugt.

Das Massendurchfluß-Meßgerät von Fig. 1, das ein gerades Meßrohr aufweist, besitzt Eigenschaften, die den Nachteilen des gekrümmten Meßrohres gerade entgegengesetzt sind: (1) der Druckabfall ist gering; (2) es ist leicht, das Meßrohr zu reinigen; (3) das Fluid kann nach der Messung leicht entfernt werden; und (4) die äußeren Abmessungen des Massendurchfluß-Meßgeräts sind klein.

Da jedoch das Meßrohr 2 an beiden Enden seines Schwingungsabschnitts mittels der Befestigungsglieder 3a, 3b und der Versteifungsstangen 4a, 4b fixiert ist, wird in Axialrichtung des Meßrohres 2 eine Spannung (stress or strain) verursacht, wenn sich die Temperatur des Fluids ändert oder die der Umgebung, wenn eine Temperaturdifferenz zwischen dem Meßrohr 2 und den Befestigungsgliedern 3a, 3b oder den Versteifungsstangen 4a, 4b auftritt. Eine Spannung in Axialrichtung des Meßrohres 2 tritt auch als Folge des Unterschiedes der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Meßrohr 2 und den Befestigungsgliedern 3a, 3b oder den Versteifungsstangen 4a, 4b auf, wenn sich die Temperatur der Meßeinheit 1 gleichförmig ändert.

Gewöhnlich ändert sich der Meßwert der Massendurchflußrate, der von dem Massendurchfluß-Meßgerät des ersten Ausführungsbeispiels mit einem geraden Meßrohr gemessen wird, mit einer Änderung des Elastizitätsmoduls, des Flächenmoments 2. Grades, der Länge, der Axialkraft, etc. des Meßrohres. Da weiterhin die in Axialrichtung des Meßrohres 2 auftretende Spannung die oben beschriebenen Parameter ändert, ändert sie die gemessene Massendurchflußrate und verursacht einen Meßfehler. Der Meßfehler kann durch Einbau eines Spannungssensors (umfassend ein piezoelektrisches Element oder einen Dehnungsmeßstreifen) auf dem Meßrohr 2 zur Messung der Spannungsänderung in Axialrichtung des Meßrohres 2 und durch Korrektur der gemessenen Massendurchflußrate auf der Basis der mittels des Spannungssensors gemessenen Spannung verringert werden, um die Meßgenauigkeit zu erhöhen.

Es ist günstig, die Korrektur auf folgende Weise auszuführen. Der Meßwert der Massendurchflußrate (Phasendifferenz oder Zeitdifferenz in diesem Fall) kann, wie schon erwähnt, unterteilt werden in einen der eigentlichen Massendurchflußrate entsprechenden Teil und einen als Nullpunktverschiebung bezeichneten Teil, der bleibt, selbst wenn die Massendurchflußrate null ist. Gewöhnlich beeinflußt die Spannung in Axialrichtung des Meßrohres diese Teile unterschiedlich. Daher kann die Meßgenauigkeit weiter dadurch verbessert werden, daß der Meßwert der Massendurchflußrate mittels der gemessenen Spannung hinsichtlich dieser Teile in unterschiedlicher Weise korrigiert wird.

Ein Beispiel der Korrektur wird nachfolgend im einzelnen erläutert. Wenn man unterstellen kann, daß sich die Nullpunktverschiebung  $Q_z$ , die selbst dann im Meßwert  $Q_m$  der Massendurchflußrate verbleibt, wenn die Massendurchflußrate null ist, linear mit dem Spannungswert S ändert, der in Axialrichtung des Meßrohres gemessen wird, dann wird  $Q_z$  wie folgt korrigiert:

$$Q_{zc} = Q_z \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \quad (1)$$

In Gleichung (1) ist  $Q_{zc}$  die Nullpunktverschiebung nach der Korrektur und  $\alpha_{sz}$  ein Korrekturfaktor pro Spannungseinheit für die Nullpunktverschiebung.

Der wesentliche oder eigentliche Teil  $Q_s$  entsprechend der gemessenen eigentlichen Massendurchflußrate wird ausgedrückt durch

$$Q_s = Q_m \cdot Q_{zc} \quad (2)$$

Wenn man unterstellen kann, daß sich  $Q_s$  linear mit dem Spannungswert  $S$  ändert, der in Axialrichtung des Meßrohres gemessen wird, dann wird  $Q_s$  wie folgt korrigiert

$$Q_{mc} = \frac{Q_s \cdot (1 + \alpha_{ss} \cdot S)}{Q_z \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \cdot (1 + \alpha_{ss} \cdot S)} = [Q_m \cdot Q_{zc} \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \cdot (1 + \alpha_{ss} \cdot S)] \quad (3)$$

In Gleichung (3) ist  $Q_{mc}$  die eigentliche Massendurchflußrate nach Korrektur und  $\alpha_{ss}$  ist ein Korrekturfaktor pro Spannungseinheit für den Teil des Meßwerts, der der eigentlichen Massendurchflußrate entspricht.

Obwohl bei dem oben beschriebenen Beispiel der Meßwert der Massendurchflußrate einer linearen Korrektur unterzogen wird, kann abhängig von den Eigenschaften des Massendurchfluß-Meßgeräts auch eine Korrektur höherer Ordnung ausgeführt werden.

Die beeinflussenden Parameter (Elastizitätsmodul, Flächenmoment 2. Grades, Länge etc. des Meßrohres), die den Meßwert der Massendurchflußrate beeinflussen, ändern sich mit der Temperatur des Meßrohres. Der Einfluß der temperaturbedingten Änderung der Parameter ist mit dem Einfluß der Spannung verknüpft, die in Axialrichtung des Meßrohres auftritt. Beispielsweise ändert sich das Flächenmoment 2. Grades des Meßrohres in einer kombinierten Weise als Änderung aufgrund der Temperatur und des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Meßrohres und Änderung aufgrund der Spannung in der Axialrichtung des Meßrohres und des Moduls der Querelastizität des Meßrohres. Die Länge des Meßrohres ändert sich in einer kombinierten Weise als Änderung aufgrund der Temperatur und des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Meßrohres und Änderung aufgrund der Spannung in der Axialrichtung des Meßrohres und des Moduls der Längselastizität des Meßrohres.

Fig. 3 ist ein Querschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung. Dieses zweite Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem ersten darin, daß auch ein Temperatursensor 11 an dem Meßrohr 2 zur Messung der Temperatur des Meßrohres 2 angebracht ist. Die Meßgenauigkeit wird dadurch weiter verbessert, daß die Temperatur  $T_t$  des Meßrohres 2, die durch den Temperatursensor 11 gemessen wird, und die Spannung in Axialrichtung des Meßrohres, die durch den Spannungssensor 10 gemessen wird, kombiniert werden. Auch in diesem Fall ist es günstig, den Meßwert der Massendurchflußrate als sich aus einem Teil entsprechend der eigentlichen Massendurchflußrate und einem Teil zusammensetzend anzunehmen, der übrig bleibt, wenn die Massendurchflußrate null ist (Nullpunktverschiebung), und die Korrekturen gesondert auf der Basis der Temperatur und der Spannung in Axialrichtung des Meßrohres auszuführen. Ein Beispiel der Korrektur soll im einzelnen erläutert werden. Unter der Annahme, daß sich die Nullpunktverschiebung  $Q_z$ , die als Meßwert  $Q_m$  der Massendurchflußrate verbleibt, wenn die Mas-

sendurchflußrate null ist, linear mit der Temperatur und dem in Axialrichtung des Meßrohres gemessenen Spannungswert  $S$  ändert, dann wird  $Q_z$  wie folgt korrigiert

$$Q_{zc} = Q_z \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \cdot [1 + \alpha_{tz} \cdot (T_t - T_s)] \quad (4)$$

In Gleichung (4) ist  $T_s$  eine Referenztemperatur und  $\alpha_{tz}$  ist ein Korrekturfaktor pro Temperatureinheit für die Nullpunktverschiebung.

Wenn der sich aus Gleichung (2) ergebende Wert  $Q_s$ , der die eigentliche Massendurchflußrate repräsentiert, linear mit dem in Axialrichtung des Meßrohres gemessenen Spannungswert  $S$  und der Temperatur  $T_t$  des Meßrohres ändert, dann wird  $Q_s$  wie folgt korrigiert:

$$Q_{mc} = \frac{Q_s \cdot (1 + \alpha_{ss} \cdot S) \cdot [1 + \alpha_{ts} \cdot (T_t - T_s)]}{Q_z \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \cdot (1 + \alpha_{tz} \cdot (T_t - T_s)) \cdot (1 + \alpha_{ss} \cdot S) \cdot [1 + \alpha_{ts} \cdot (T_t - T_s)]} = [Q_m \cdot Q_{zc} \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \cdot (1 + \alpha_{tz} \cdot (T_t - T_s)) \cdot (1 + \alpha_{ss} \cdot S) \cdot [1 + \alpha_{ts} \cdot (T_t - T_s)]] \quad (5)$$

$\alpha_{ts}$  ist ein Korrekturfaktor pro Temperatureinheit für den der eigentlichen Massendurchflußrate entsprechenden Teil des Meßwerts.

Obwohl auch hier eine lineare Korrektur beschrieben wurde, kann abhängig von den Eigenschaften des Massendurchfluß-Meßgeräts eine Korrektur höherer Ordnung ausgeführt werden.

Fig. 4 ist eine Draufsicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung. Dieses dritte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von den ersten beiden Ausführungsbeispielen dadurch, daß ein Temperatursensor 12 in der Mitte der Versteifungsstange 4b zur Messung des Rahmens angeordnet ist, der sich aus den Befestigungsgliedern 3a, 3b und den Versteifungsstangen 4a und 4b zusammensetzt, und daß ein Temperatursensor 11 an dem Meßrohr 2 auf der rechten Seite zur Messung der Temperatur des Meßrohres 2 angeordnet ist.

Da bei der Anordnung von Fig. 4 die gesamte von außen aufgebrachte Spannung auf den Rahmen und nicht direkt auf das Meßrohr 2 ausgeübt wird, ist der Einfluß der externen Spannung auf die Spannung in Axialrichtung des Meßrohres 2 auf einen vernachlässigbaren Wert reduziert. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, daß die in Axialrichtung des Meßrohres 2 auftretende Spannung von den Temperaturen, der Temperaturdifferenz und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Meßrohr 2 und Rahmen bestimmt wird. Da die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von dem Material abhängen, ist es möglich, die Spannung in Axialrichtung des Meßrohres 2 aus den Temperaturen von Meßrohr 2 und Rahmen abzuleiten.

Durch Messen der Temperaturen des Meßrohres 2 und des Rahmens mittels der Sensoren 11 und 12 werden daher die Temperatur des Meßrohres 2 sowie die in Axialrichtung des Meßrohres 2 auftretende Spannung bestimmt. Durch Korrektur des Meßwerts der Massendurchflußrate mittels dieser gemessenen Werte kann die Meßgenauigkeit verbessert werden. Auch hier werden die Korrekturen bevorzugt gesondert für den Teil des Meßwerts, der der eigentlichen Massendurchflußrate entspricht, und den Teil ausgeführt, der übrig bleibt, wenn die Massendurchflußrate null ist (Nullpunktverschiebung).

Da bei dem dritten Ausführungsbeispiel kein Spannungssensor 10 an dem Meßrohr 2 angebracht ist, kann er das schwingende Meßrohr 2 im Gegensatz zu dem ersten und dem zweiten Ausführungsbeispiel nicht beeinflussen.

Ein Beispiel der Korrektur soll nachfolgend erläutert werden. Die Temperaturdifferenz  $T_d$  zwischen dem Rahmen und dem Meßrohr 2 wird mit der Temperatur  $T_b$  des Rahmens und der Temperatur  $T_t$  des Meßrohres wie folgt ausgedrückt:

$$T_d = T_t - T_b \quad (6)$$

Wenn die thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Rahmens (genau gesagt, der Versteifungsstangen 4a, 4b in Fig. 4) und des Meßrohres 2 gleich sind, kann davon ausgegangen werden, daß der Meßwert der in Axialrichtung des Meßrohres 2 verursachten Spannung  $S$  proportional  $T_d$  ist. Auf entsprechende Weise wie vorher kommt man zu folgender Gleichung:

$$Q_{mc} = \frac{[Q_m - Q_z \cdot (1 + \alpha_{dz} \cdot T_d) \cdot (1 + \alpha_{tz} \cdot (T_t - T_s))]}{(1 + \alpha_{ds} \cdot T_d) \cdot [1 + \alpha_{ts} \cdot (T_t - T_s)]} \quad (7)$$

Darin sind  $\alpha_{dz}$  ein Korrekturfaktor pro Temperaturdifferenzeinheit für die Nullpunktverschiebung und  $\alpha_{ds}$  ein Korrekturfaktor pro Temperaturdifferenzeinheit für den der eigentlichen Massendurchflußrate entsprechenden Teil.

Wenn die thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Rahmens (genauer der Versteifungsstangen 4a und 4b in Fig. 4) und des Meßrohres 2 von einander verschieden sind, wird der Meßwert der Spannung  $S$ , die in Axialrichtung des Meßrohres 2 verursacht wird, mit dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten ab des Rahmens und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{tt}$  des Meßrohres wie folgt ausgedrückt:

$$S = \alpha_{tb} \cdot (T_b - T_s) - \alpha_{tt} \cdot (T_t - T_s)$$

Unter Verwendung dieser Gleichung ergibt sich auf ähnliche Weise wie vorher die folgende Gleichung:

$$Q_{mc} = \frac{[Q_m - Q_z \cdot (1 + \alpha_{sz} \cdot S) \cdot (1 + \alpha_{tz} \cdot (T_t - T_s))]}{(1 + \alpha_{ss} \cdot S) \cdot [1 + \alpha_{ts} \cdot (T_t - T_s)]}$$

Obwohl hier wieder eine lineare Korrektur beschrieben wurde, kann abhängig von den Eigenschaften des Massendurchfluß-Meßgerätes eine Korrektur höherer Ordnung ausgeführt werden.

Fig. 5 ist eine Draufsicht auf ein viertes Ausführungsbeispiel eines Massendurchfluß-Meßgeräts gemäß der vorliegenden Erfindung. Fig. 6 zeigt einen Querschnitt dieses Massendurchfluß-Meßgerätes. Bei diesem vierten Ausführungsbeispiel ist eine Detektoreinheit 20 in einem Gehäuse 15 an vorbestimmten Punkten von Verlängerungsabschnitten 14a, 14b des Meßrohres 2 aufgehängt. Durch Anordnen eines Temperatursensors 11 auf einem der Verlängerungsabschnitte 14a zur Messung der Temperatur des Meßrohres 2 kann der Einfluß des Temperatursensors 11 auf das schwingende Meßrohr 2 verglichen mit dem Fall unterdrückt werden, wo der Temperatursensor an dem schwingenden Abschnitt des Meßrohres 2 angeordnet ist. Bei dem vierten Ausführungsbeispiel ist es nicht immer nötig, Korrekturen gesondert für den der eigentlichen Massendurchflußrate entsprechenden Teil und der Nullpunktverschiebung auszuführen. In einigen Fällen kann die Korrektur der Nullpunktverschiebung entfallen.

#### Patentansprüche

1. Massendurchfluß-Meßgerät zur Messung einer

Massendurchflußrate eines Fluids auf der Basis der Reaktionskraft, die durch Beschleunigen des ein gerades Meßrohr (2) durchströmenden Fluids erzeugt wird, umfassend:

eine Sensoranordnung (10; 10, 11; 11, 12) zur Erfassung des Zustands des Meßrohres (2), und eine Korrekturereinrichtung (9) zur Korrektur des gemessenen Werts der Massendurchflußrate auf der Basis des Ausgangssignals der Sensoranordnung, wobei die Korrekturereinrichtung umfaßt eine Massendurchflußraten-Korrekturereinrichtung zur Korrektur eines Teiles des gemessenen Werts, der der eigentlichen Massendurchflußrate des Fluids entspricht, und eine Nullpunkt-Korrekturereinrichtung zur Korrektur eines Teiles des gemessenen Werts, der der Nullpunktverschiebung entspricht, die übrig bleibt, wenn das Fluid nicht strömt.

2. Meßgerät nach Anspruch 1, bei dem die Sensoranordnung einen Spannungssensor (10) zur Erfassung der Spannung umfaßt, die in Axialrichtung des Meßrohres (2) verursacht wird.

3. Meßgerät nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Sensoranordnung einen Temperatursensor (11) zur Erfassung der Temperatur des Meßrohres (2) umfaßt.

4. Meßgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend einen Rahmen (3a, 3b, 4a, 4b) zur Befestigung des Meßrohres (2) an Schwingungsknoten desselben, wobei die Sensoranordnung einen ersten Temperatursensor (11) zur Erfassung der Temperatur des Meßrohres (2) und einen zweiten Temperatursensor (12) zur Erfassung der Temperatur des Rahmens umfaßt.

5. Massendurchfluß-Meßgerät, umfassend: eine Meßeinheit (1) mit einem Meßrohr (2), einem Rahmen (3a, 3b, 4a, 4b) zur Befestigung des Meßrohres an Schwingungsknoten desselben, eine Antriebseinrichtung (5, 8), um das Meßrohr in Schwingungen zu versetzen, und eine Schwingungsdetektoranordnung (6a, 6b) zur Erfassung der Schwingung des Meßrohres, ein Gehäuse (15) zur Befestigung von Verlängerungsabschnitten (14a, 14b) des Meßrohres (2) und zum Aufhängen der Meßeinheit (1) darin, einen Temperatursensor (11) zur Messung der Temperatur des Meßrohres, wobei der Temperatursensor an einem mittleren Punkt zwischen einem ersten Ort, wo das Meßrohr an dem Rahmen befestigt ist, und einem zweiten Ort, wo das Meßrohr an dem Gehäuse befestigt ist, angeordnet ist, und eine Korrekturereinrichtung (9) zur Korrektur des gemessenen Werts der Massendurchflußrate auf der Basis des Ausgangssignals des Temperatursensors.

6. Nach dem Coriolis-Prinzip arbeitendes Massendurchfluß-Meßgerät, umfassend: ein gerades Meßrohr (2),

eine Antriebseinrichtung (5, 8), um das Meßrohr in Schwingungen zu versetzen, wobei das Meßrohr an zwei Stellen eingespannt ist, die Schwingungsknoten seiner Schwingung entsprechen, eine Schwingungsdetektoranordnung (6a, 6b) zur Erfassung der Schwingung des Meßrohres, eine Einrichtung (9) zur Ableitung eines Meßwerts der Massendurchflußrate aufgrund von Ausgangssignalen der Schwingungsdetektoranordnung (6a,

6b),  
eine Sensoranordnung (10; 10, 11; 11, 12) zur Erfas-  
sung eines Temperatur- und/oder Spannungszu-  
stands des Meßrohres (2), und  
eine Korrektureinrichtung (9) zur Korrektur des 5  
Meßwerts der Massendurchflußrate auf der Basis  
wenigstens eines Ausgangssignals der Sensoran-  
ordnung, wobei die Korrektureinrichtung umfaßt  
eine Massendurchflußraten-Korrektureinrichtung  
zur Korrektur eines der eigentlichen Massendurch- 10  
flußrate des Fluids entsprechenden Teiles des Meß-  
werts, und  
eine Nullpunkt-Korrektureinrichtung zur Korrek-  
tur eines einer Nullpunktverschiebung entspre-  
chenden Teiles des Meßwerts, der sich ergibt, wenn 15  
die Massendurchflußrate null ist.  
7. Meßgerät nach Anspruch 6, bei dem die Sensor-  
anordnung einen Spannungssensor (10) zur Erfas-  
sung der Spannung umfaßt, die in Axialrichtung des  
Meßrohres (2) verursacht wird. 20  
8. Meßgerät nach Anspruch 6 oder 7, bei dem die  
Sensoranordnung einen Temperatursensor (11) zur  
Erfassung der Temperatur des Meßrohres (2) um-  
faßt.  
9. Meßgerät nach einem der Ansprüche 6 bis 8, 25  
ferner umfassend einen Rahmen (3a, 3b, 4a, 4b) zur  
Befestigung des Meßrohres (2) an Schwingungs-  
knoten desselben, wobei die Sensoranordnung ei-  
nen ersten Temperatursensor (11) zur Erfassung  
der Temperatur des Meßrohres (2) und einen zwei- 30  
ten Temperatursensor (12) zur Erfassung der Tem-  
peratur des Rahmens umfaßt.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1 \*

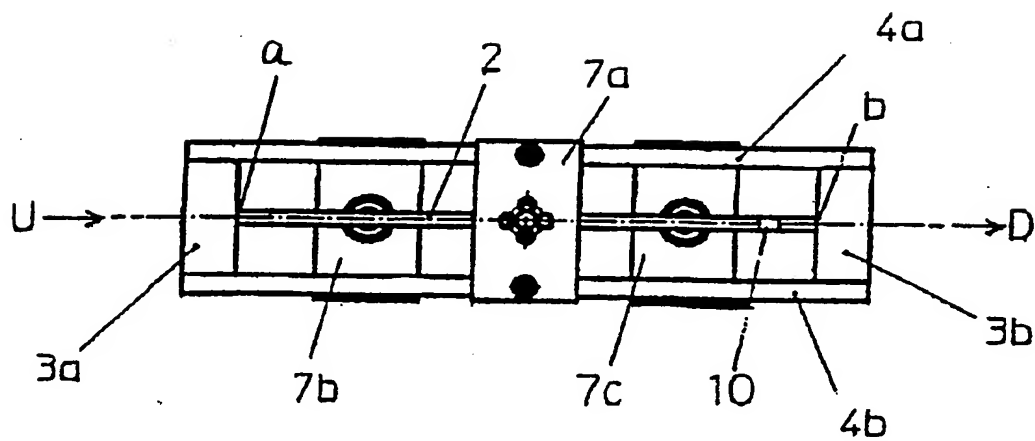


FIG. 2

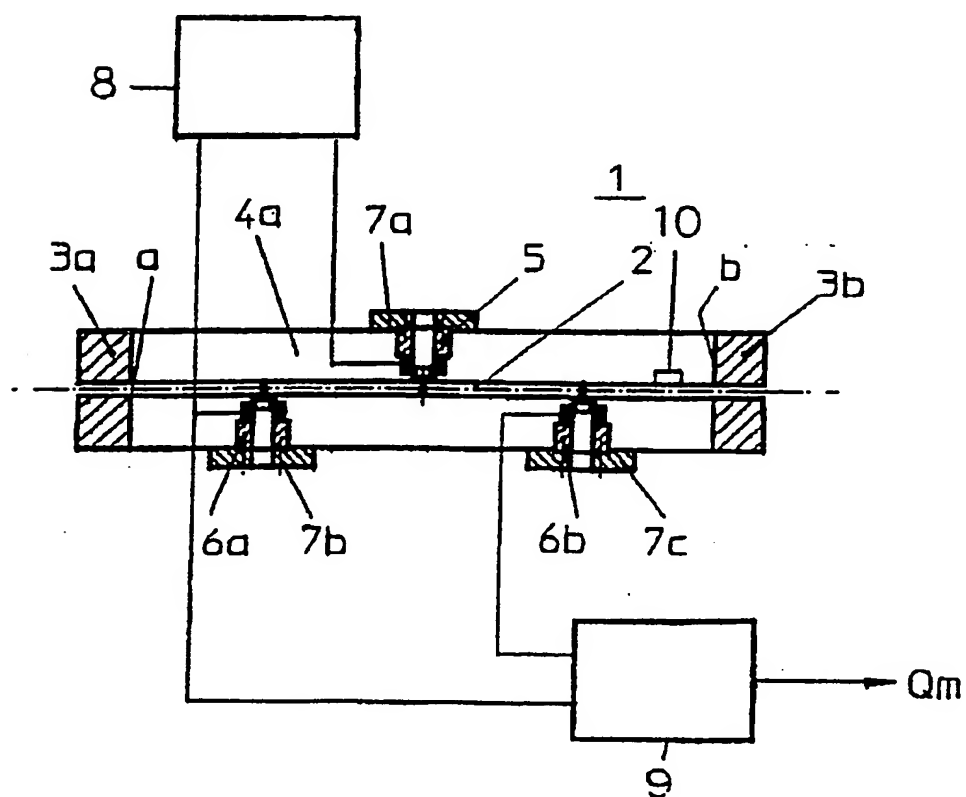


FIG. 3

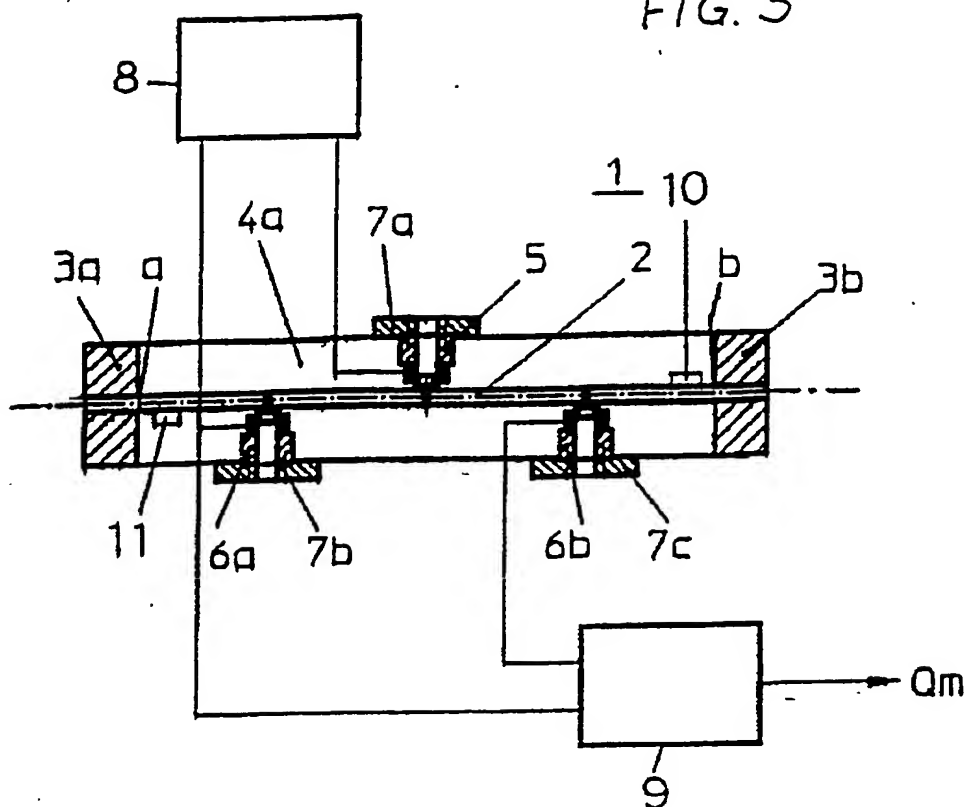


FIG. 4

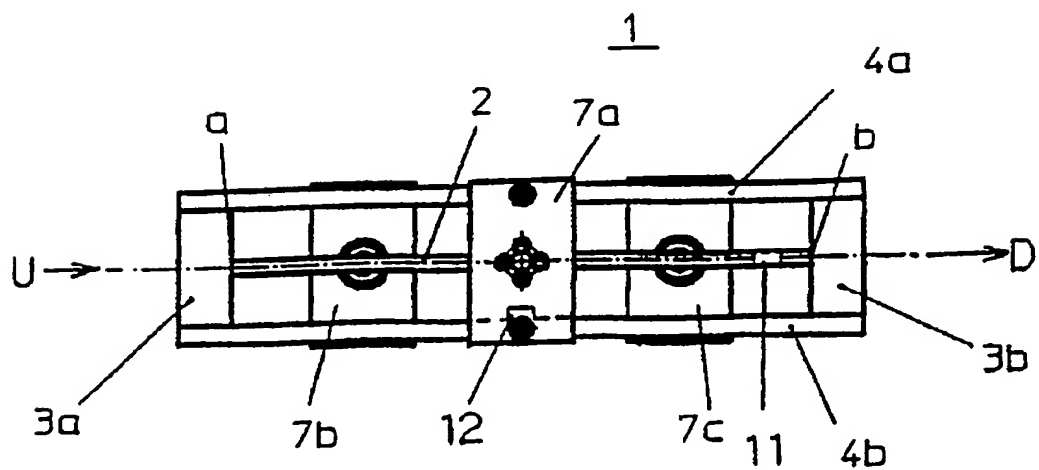




FIG. 5

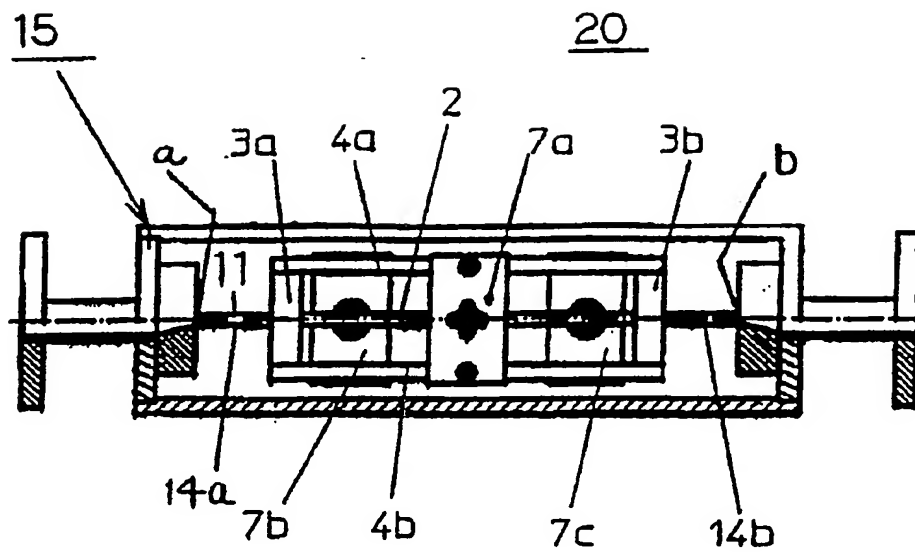


FIG. 6

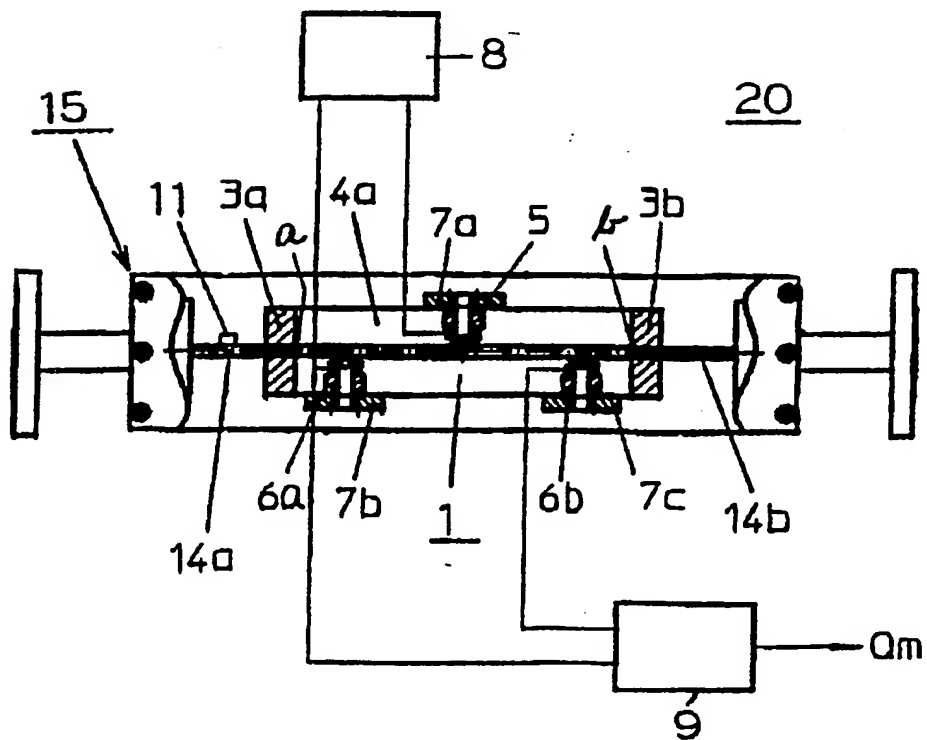


FIG. 7

